

ANALISIS KINERJA *SPHERE DECODING* PADA SISTEM *MULTIPLE INPUT MULTIPLE OUTPUT*

Kezia Elda¹, Lydia Sari²

Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya – Jakarta
email: ² lydia.sari@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Sistem *multiple input multiple output* (MIMO) memiliki keunggulan, karena dapat meningkatkan kapasitas kanal dengan mengirimkan sinyal informasi secara bersamaan. Namun dibutuhkan metode khusus untuk dapat mendeteksi sinyal informasi yang diterima. Salah satu metode yang memiliki kompleksitas rendah adalah metode *Sphere Decoder* (SD). Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja metode SD dalam mendeteksi sinyal informasi. Simulasi menggunakan program MATLAB 2013a dengan bantuan *Communication Systems Toolbox*. Modulasi yang digunakan adalah 16-QAM pada 2 (dua) antena pemancar dan 2 (dua) antena penerima. Hasil simulasi menunjukkan nilai *Bit Error Rate* (BER) metode SD pada sistem MIMO yang sangat kecil, yaitu sudah mencapai nilai 10^{-3} saat E_b/N_0 sebesar 16 dB. Perubahan nilai E_b/N_0 juga mempengaruhi BER yang semakin kecil seiring dengan bertambahnya nilai E_b/N_0 .

Kata kunci: *multiple input multiple output, sphere decoder, Matlab, BER*

ABSTRACT

Multiple Input Multiple Output (MIMO) has an advantage because it can increase the channel capacity to transmit information signals simultaneously. It takes a special method to detect the signal information received. One method that has low complexity method is the Sphere Decoder (SD). This paper was conducted to analyze the performance of the method in detecting information signal. Simulation is done using MATLAB 2013a with Communication Systems Toolbox. Modulation used is 16-QAM on 2 transmitter antennas and 2 receiver antennas. The simulation results show the value of Bit Error Rate (BER) in MIMO systems SD method is very small, which had reached a value of 10^{-3} when E_b / N_0 of 16 dB. Changes in the value of E_b/N_0 also affect BER. When E_b/N_0 are increased, the performance of BER gets improved.

Keywords: *multiple input multiple output, sphere decoding, Matlab, BER*

PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi nirkabel dalam pengiriman data menuntut jumlah *bandwidth* dan laju data yang tinggi. Penambahan *bandwidth* dalam dunia telekomunikasi membutuhkan biaya

yang tinggi. *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan solusi dalam komunikasi nirkabel untuk mengirim data secara paralel tanpa perlu menambah jumlah *bandwidth* [5].

Sistem MIMO menggunakan antena jamak pada sisi pengirim dan sisi penerimanya, sehingga data dapat dikirim secara simultan. Sistem ini juga memiliki keunggulan, karena kapasitas kanal dapat ditingkatkan dengan memperbanyak sinyal informasi yang akan ditransmisikan. Namun, dibutuhkan metode khusus untuk memetakan aliran data, agar sinyal informasi dapat dideteksi pada sisi penerima [3].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi sinyal pada skema MIMO adalah metode *Sphere Decoder*. Metode ini memungkinkan deteksi simbol yang dikirimkan menggunakan MIMO dengan lebih sederhana dibandingkan metode lain, seperti *maximum-likelihood decoding*. Banyaknya kemungkinan simbol yang dikirimkan dengan skema MIMO membuat penerima memerlukan komputasi yang kompleks. Dengan algoritma *sphere decoding*, kriteria pengambilan keputusan tentang simbol yang dikirimkan dibatasi sebesar radius *sphere* tertentu. Vektor sinyal terima yang berada dalam radius dibandingkan dengan kemungkinan sinyal yang dikirimkan [4].

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja metode *sphere decoding* pada penerimaan informasi skema MIMO berdasarkan *Bit Error Rate*.

Pembatasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Antena yang digunakan adalah 2 (dua) antena pemancar dan 2 (dua) antena penerima.
2. Tidak membahas cara kerja dari antena yang digunakan.
3. Simulasi menggunakan MATLAB 2013a.
4. Jenis modulasi yang digunakan adalah modulasi *16-Quadrature Amplitude Modulation* (16-QAM)

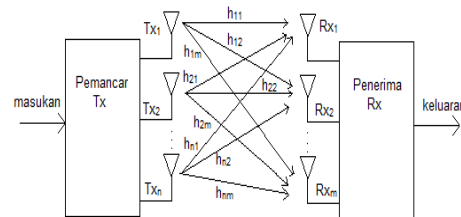
5. Parameter kinerja adalah *Bit Error Rate*.

TEORI PENDUKUNG

A. Multiple Input Multiple Output

Multiple Input Multiple Output (MIMO) merupakan cara pengiriman data dengan menggunakan antena jamak pada sisi pengirim dan sisi penerima.

Teknik MIMO dengan beberapa antena pemancar Tx_n dan antena penerima Rx_m , serta matriks kanal h_{mn} ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Konfigurasi MIMO

Prinsip dari MIMO adalah memecah deretan simbol yang akan dikirimkan menjadi beberapa paralel deretan simbol, yang kemudian ditransmisikan secara bersamaan dengan *bandwidth* yang sama [7].

B. Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal dalam transmisi data dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah *bandwidth*. Penambahan *bandwidth* ini membutuhkan biaya yang tinggi. Sehingga cara lain yang digunakan untuk menambah kapasitas kanal tanpa perlu menambah *Signal to Noise Ratio* (SNR) adalah menambah jumlah antena [5]. Persamaan (1) merumuskan kapasitas kanal.

$$C = 2 \log \det \left[I_m + \frac{SNR}{n} II^* II \right] \quad (1)$$

C adalah kapasitas kanal sistem antena jamak (bps), I_m adalah matriks

identitas sesuai jumlah antena penerima, SNR adalah *Signal to Noise Ratio* sistem, n adalah jumlah antena pengirim dan H adalah matriks kanal.

C. Zero Forcing

Zero Forcing (ZF) merupakan salah satu MIMO decoder yang dapat mengetahui informasi yang dikirimkan, walaupun sudah bercampur dengan *noise* dan *gain* [2].

Persamaan (3) menunjukkan transmisi data sistem MIMO 2x2 dengan menggunakan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM), sehingga sinyal terima dapat dinyatakan dalam bentuk *real* dan *imaginary*.

$$y = Hx + z$$

$$\begin{bmatrix} y_{1R} \\ y_{2R} \\ y_{1i} \\ y_{2i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11R} & h_{12R} & -h_{11i} & -h_{12i} \\ h_{21R} & h_{22R} & -h_{21i} & -h_{22i} \\ h_{11i} & h_{12i} & h_{11R} & h_{12R} \\ h_{21i} & h_{22i} & h_{21R} & h_{22R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1R} \\ x_{2R} \\ x_{1i} \\ x_{2i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} z_{1R} \\ z_{2R} \\ z_{1i} \\ z_{2i} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dengan y adalah simbol untuk informasi yang diterima oleh Rx, H adalah *gain* kanal dari N jumlah antena, x adalah simbol untuk informasi yang dikirim oleh Tx, z adalah *noise* pada Rx berupa *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

Nilai estimasi \hat{x}_{ZF} adalah:

$$\hat{x}_{ZF} = Wy \quad (3)$$

Matriks W dengan *Zero Forcing* didefinisikan dalam Persamaan (4).

$$W_{ZF} = (H^H H)^{-1} H^H \quad (4)$$

H^H merupakan proses matriks Hermitian dari matriks H yang merupakan matriks kanal.

D. Maximum Likelihood Detector

Maximum Likelihood Detector (MLD) merupakan metode yang dapat mendeteksi sinyal informasi yang dikirimkan dan dapat menghitung jarak sinyal diterima terhadap seluruh kemungkinan kombinasi simbol. Hal ini membuat MLD merupakan dekoder yang kompleks [4]. Oleh sebab itu, digunakan metode lain untuk menyederhanakan MLD, yaitu dengan metode *Sphere Decoding*.

MLD menentukan vektor sinyal yang didefinisikan sebagai:

$$\hat{x}_{ML} = \arg \min \| \bar{y} - \bar{H} \bar{x} \|^2 \quad (5)$$

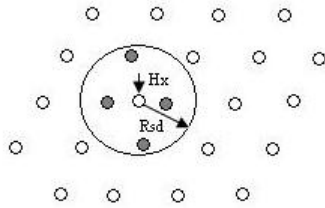
E. Sphere Decoding

Sphere Decoding (SD) digunakan untuk mencari vektor sinyal yang ditransmisikan dan merupakan metode solusi untuk meminimalkan *metric* dari *Maximum Likelihood Detector* (MLD) [8].

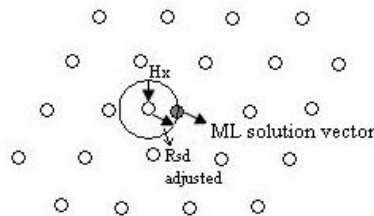
$$\arg \min \| \bar{y} - \bar{H} \bar{x} \|^2 \leq R_{SD}^2 \quad (6)$$

R_{SD} adalah besar radius dari *sphere* yang dicari.

Prinsip metode SD ini adalah mencari titik konstelasi yang memiliki vektor terdekat dengan sinyal terima pada sebuah radius *sphere*. Jika sebuah titik yang ditemukan dengan titik tengah memiliki jarak yang kurang dari besarnya radius, maka radius akan diperbarui sesuai dengan jarak tersebut. Proses ini akan terus diulang sehingga hanya terdapat 1 titik yang tersisa di dalam radius *sphere*. Titik yang tersisa ini merupakan titik konstelasi yang terdekat dengan sinyal terima, yang kemudian disebut sebagai *ML solution vector*. Jika sama sekali tidak ditemukan titik di dalam radius *sphere*, maka radius harus diperbesar dan proses yang sama akan dilakukan untuk mendapatkan *ML solution vector* [1].



Gambar 2 *Sphere* dengan 4 buah vektor di dalamnya



Gambar 3 *Sphere* dengan radius tereduksi

F. *Quadrature Amplitude Modulation*

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) merupakan sebuah skema modulasi yang membawa data dengan memodulasi amplitudo dari dua gelombang pembawa. Kedua gelombang tersebut biasanya bersifat sinusoidal, yang saling berbeda fase sebesar 90 derajat. Konstelasi sinyalnya berubah sesuai amplitudo, serta berubah berdasarkan fase [9].

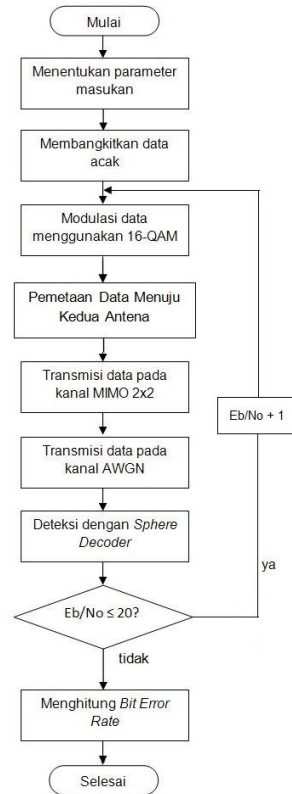
Pada penelitian ini, digunakan modulasi *rectangular* 16-QAM. *Rectangular* 16-QAM digunakan dalam komunikasi digital karena dapat memetakan tiap 4 bit data yang akan ditransmisikan menjadi sebuah simbol. Simbol dapat menyatakan 16 nilai yang berbeda dan dapat dinyatakan dengan amplitudo serta sudut fasa yang berbeda [6].

PERANCANGAN SIMULASI

Perancangan simulasi menggunakan program MATLAB 2013a dengan *script* m-file.

A. Diagram Alir

Sistem perancangan simulasi metode SD pada sistem MIMO ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir simulasi

B. Simulasi *Sphere Decoder* pada Sistem MIMO

Langkah pertama yang dilakukan untuk mensimulasikan pengiriman data pada sistem MIMO adalah menentukan parameter masukan. Parameter masukan pada simulasi ini adalah jumlah bit yang akan dikirimkan, yaitu sebanyak 4.000 bit, dan nilai E_b/N_0 yang divariasikan dari 0 dB sampai dengan 20 dB dengan 16 titik konstelasi. Jumlah antena pemancar dan penerima yang digunakan adalah 2 (dua) buah.

Data yang akan disimulasikan berupa bit 0 dan 1 yang dibangkitkan secara acak.

Modulasi yang digunakan adalah modulasi 16-QAM menggunakan *symbol mapping* dari desimal 0 sampai 15.

Selanjutnya, dibentuk sistem MIMO *channel*, AWGN *channel* dan sistem *Sphere Decoder Receiver Processing*.

C. Proses Transmisi Data

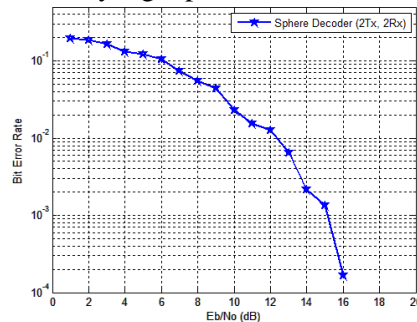
Data acak yang telah dibangkitkan akan dimodulasi dengan 16-QAM. Data termodulasi dibagi menjadi 2 (dua), sesuai dengan jumlah antenna pemancar yang digunakan.

Dalam pengiriman data dari antenna pemancar ke antenna penerima, data akan bercampur dengan *fading*, *gain* yang dihasilkan dari kanal MIMO. Proses transmisi data juga akan bercampur dengan *noise* yang dihasilkan dari kanal AWGN.

Pada sisi penerima, sinyal terima tersebut dideteksi menggunakan metode *Sphere Decoding*.

PENGUJIAN SIMULASI

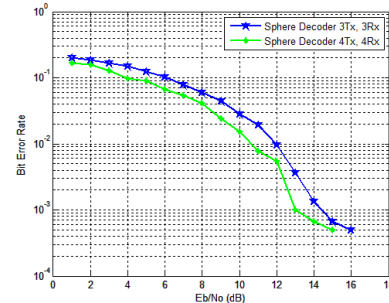
Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai BER pada grafik metode SD sudah berada di bawah titik 10^{-2} dengan E_b/N_0 sebesar 13 dB. Probabilitas *error* yang dihasilkan sangat kecil disebabkan karena metode SD menggunakan teknik mengurangi radius *sphere*. Pengurangan radius *sphere* terus dilakukan, sampai mendapatkan hasil deteksi sinyal informasi yang tepat.



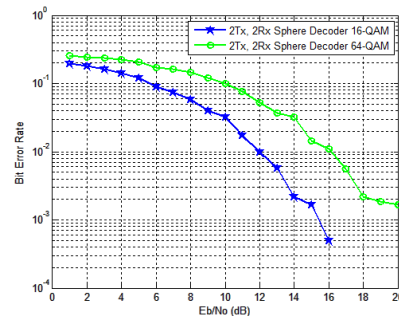
Gambar 5 Grafik kinerja SD

Gambar 6 merupakan grafik hasil simulasi, yang menunjukkan bahwa nilai BER pada sistem MIMO 4x4 lebih kecil dibandingkan dengan sistem MIMO 3x3.

Hal ini dapat terjadi karena perubahan jumlah antenna mempengaruhi ordo matriks perhitungan SD. Semakin banyak jumlah antenna, semakin banyak jumlah kandidat titik dalam sebuah radius *sphere*, yang memungkinkan pemilihan vektor sinyal semakin mendekati sinyal informasi yang sesungguhnya [2].



Gambar 6 Grafik kinerja SD pada MIMO 3x3 dan 4x4



Gambar 7 Grafik kinerja SD modulasi 16-QAM dan 64-QAM

Pada Gambar 7, grafik menunjukkan bahwa nilai BER dengan menggunakan 16-QAM lebih kecil dibandingkan dengan 64-QAM. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah bit per simbol pada 16-QAM adalah 4 bit, sedangkan jumlah bit per simbol pada 64-QAM sebanyak 6 bit. 64-QAM dapat lebih cepat mengirimkan data dibandingkan

16-QAM, namun hal tersebut membuat probabilitas kesalahan menjadi semakin besar. Selain itu, penambahan jumlah titik konstelasi juga dapat meningkatkan probabilitas kesalahan yang semakin tinggi [6].

SIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sistem pengiriman informasi metode *Sphere Decoder* pada MIMO memiliki nilai BER yang sangat kecil, yaitu mencapai 10^{-3} pada saat Eb/No sebesar 16 dB.
2. Penambahan jumlah antena pemancar dan penerima dapat memperbaiki nilai BER, karena jumlah antena mempengaruhi jumlah kandidat titik dalam sebuah radius *sphere* dan adanya diversitas antena.
3. Metode SD pada sistem MIMO dengan modulasi 16-QAM memiliki nilai BER yang lebih kecil dibandingkan modulasi 64-QAM, dengan *trade off*, yaitu jumlah data yang dikirimkan dengan *bandwidth* yang sama, akan lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alamouti, S.M. 1998. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 16(8): 1451-1458.
- [2] Cho, S.Y., et al. 2011. *MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB*. Singapore: John Wiley and Sons (Asia).
- [3] Foschini, G.J. 1996. Layered Space-Time Architecture for Wireless Communication in a Fading Environment When Using Multi-Element Antennas. *Bell Labs Technical Journal*. 12(2): 41-57.
- [4] Kim, H.S. 2007. *Study on Sphere Decoder Architecture for MIMO Wireless Communication System*. Tesis. Korea: School of Engineering, Information and Communication University.
- [5] Leonard. 2012. *Evaluasi Kinerja Sistem MIMO dengan Deteksi V-BLAST*. Tugas Akhir. Jakarta: Fakultas Teknik Unika Atma Jaya.
- [6] Proakis, John G dan Masoud Salehi. 2008. *Digital Communication*, Fifth Edition. New York: McGraw-Hill.
- [7] Sengky, I.G. 2008. *Spatial Multiplexing Analysis* (<http://lontar.ui.ac.id/file?file=digital/126630-R0308117-Spatial%20multiplexing-Analisis.pdf>, diakses 3 Juni 2013).
- [8] Setyadewa, A., Amien, W., Santoso, I. 2011. Implementasi Dekoder MIMO Berbasis Deteksi Sphere pada WLAN 802.11n. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 14(3).
- [9] Wahid, N.H. 2012. *Mapping Konstelasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM* (<http://rezakahar.wordpress.com/2012/06/23/mapping-konstelasi-modulasi-qpsk-16-qam-dan-64-qam-pada-lte-menggunakan-matlab/>, diakses 3 Juni 2013).